

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-145910

(43)Date of publication of application : 28.05.1999

(51)Int.Cl. H04B 10/20  
H04B 10/14  
H04B 10/06  
H04B 10/04  
H04B 10/02  
H04B 10/18

(21)Application number : 10-258653

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 11.09.1998

(72)Inventor : SRIVASTAVA ATUL KUMAR  
SULHOFF JAMES W  
SUN YAN  
ZYSKIND JOHN LEHRER

(30)Priority

Priority number : 97 929926

Priority date : 15.09.1997

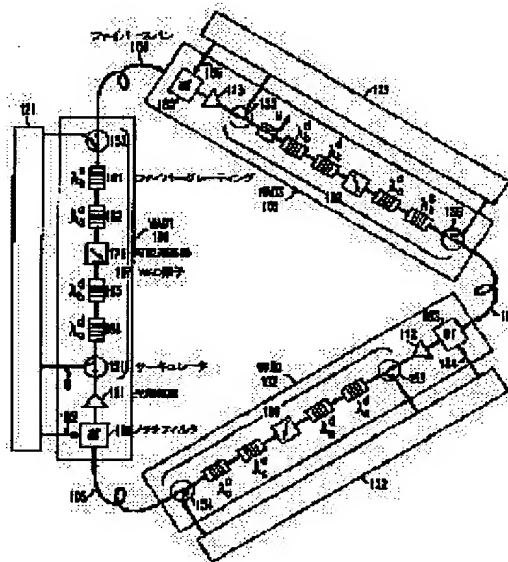
Priority country : US

## (54) WAVELENGTH DIVISION MULTIPLE RING NETWORK AND STABILIZATION METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To prevent laser oscillation of a WDM ring network by providing a node link and a protective means in a network, providing an optical fiber part and an access node site in the node link and making the protective means change the optical transmission characteristics of the inactive part of the transmission band of the network.

**SOLUTION:** Optical amplifiers 111-113 are erbium dope fiber amplifiers EDFA and supply optical gain for compensating loss in the node link. Thus, for instance, the amplifier 111 is arranged so as to compensate the loss in grating, a coupler and a fiber connector of an optical fiber span 104 and a WAD element 107. In normal installation, the node links, that are the respective ones of 101/104-103/106, are provided with the amplifier gain for canceling the loss by the fiber and WAD in the links.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

17.09.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 11 - 145910

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 5 月 28 日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/20

H 0 4 B 9/00

N

10/14

S

10/06

M

10/04

10/02

審査請求 未請求 請求項の数 16

O L

(全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平 10-258653

(22) 出願日

平成 10 年 (1998) 9 月 11 日

(31) 優先権主張番号

08/929926

(32) 優先日

1997 年 9 月 15 日

(33) 優先権主張国

米国 (U S)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド

Lucent Technologies  
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700

(72) 発明者

アトゥル カマー スリヴァスタヴァ  
アメリカ合衆国, 07724 ニュージャージ  
ー, イートンタウン, ホワイト ストリ  
ー 111

(74) 代理人

弁理士 三俣 弘文

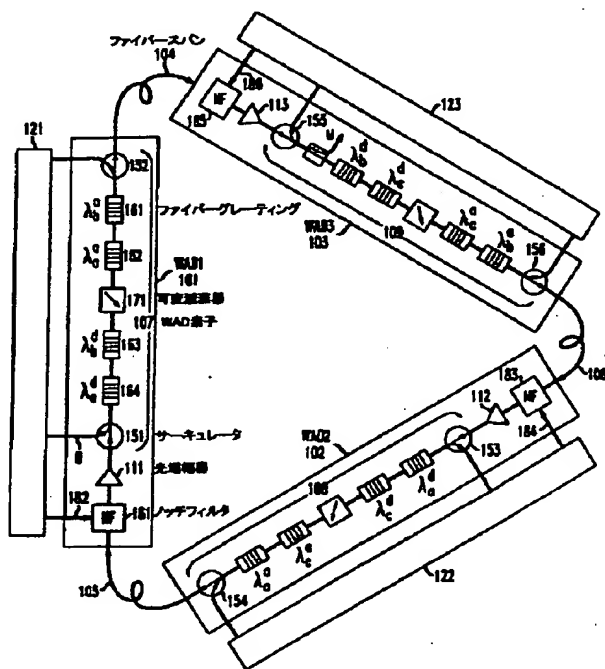
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重化リングネットワーク及びその安定化方法

(57) 【要約】

【課題】 波長分割多重化リングネットワークにおける  
レーザー発振を防止する。

【解決手段】 直列に接続された複数のノードリンク  
を有し各々のノードリンクが光ファイバー部とネットワ  
ークの伝送帯域との間で単一あるいは複数のアクティ  
ブ波長チャネルの追加／除去を行なうアクセスノードサ  
イトとを有するような WDM リングネットワークにおけ  
るレーザー発振が、ネットワークに接続された防止手段  
でネットワークの光伝送特性を変化させ、あらゆる波長  
におけるネットワークループ利得がネットワークループ  
損失よりも常に小さいことを保証することによって防止  
される。本発明の一実施例においては、前記防止手段  
は、ネットワークの伝送帯域の不活性部分の光伝送特性  
を変化させ、その不活性部分におけるループ利得がループ  
損失よりも小さいことを保証する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長分割多重化リングネットワークにおいて、当該ネットワークが、

(A) 複数の直列に接続されたノードリンクと、ここで、

前記各ノードリンクは、光ファイバセグメント及び単一あるいは複数の活性チャネルを前記ネットワークの伝送帯域に対して追加あるいは除去するアクセスノードサイトを有しており、及び(B) 前記ネットワークに接続され、前記ネットワークのループ利得があらゆる波長において前記ネットワークのループ損失を超過しないことを保証するように前記ネットワークの光伝送特性を変化させる保護手段とを有することを特徴とする波長分割多重化リングネットワーク。

【請求項2】 前記保護手段が、前記伝送帯域のうちの未使用の部分における光を、当該未使用部分における前記ネットワークループ利得が前記ネットワークループ損失よりも小さいことを保証するために反射する前記保護手段を有することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項3】 前記保護手段が、単一あるいは複数の波長における前記ネットワークループ利得を調節する利得制御を有していることを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項4】 前記保護手段が、単一あるいは複数の波長において前記ネットワークループ利得を制御する目的でアクセスノード制御アルゴリズムを利用することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項5】 前記伝送帯域の前記未使用部分が、ネットワークにおいて現在用いられていない単一あるいは複数の未使用チャネルを含むことを特徴とする請求項2に記載のネットワーク。

【請求項6】 前記保護手段が、前記伝送帯域の前記未使用部分の増幅自発放出でのレーザー発振から保護することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項7】 前記接続された複数のノード手段のうちの少なくとも一つが、少なくとも追加／除去回路とクロス接続回路とを含む群より選択された単一あるいは複数の光回路を有することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項8】 前記複数の接続されたノード手段のうちの少なくとも一つが、波長チャネルをその波長に従ってルーティングする手段を有することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項9】 前記保護手段が単一あるいは複数の交換素子を有しており、当該交換素子が各々前記ルーティング手段の未使用波長の接続を制御することを特徴とする請求項8に記載のネットワーク。

【請求項10】 前記単一あるいは複数の交換素子が前記交換可能接続を制御する制御信号に応答することを

特徴とする請求項9に記載のネットワーク。

【請求項11】 前記保護手段が単一あるいは複数のノッチフィルタを有することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項12】 前記単一あるいは複数のノッチフィルタの各々が、前記伝送帯域の前記未使用部分の一部の光伝送を低減することを特徴とする請求項11に記載のネットワーク。

【請求項13】 前記ノードリンクの各々が、それぞれ固有の保護手段を有することを特徴とする請求項1に記載のネットワーク。

【請求項14】 波長分割多重化リングネットワークにおける光伝送を安定化する方法において、当該方法が、

(A) 前記ネットワークの伝送帯域へ単一あるいは複数の波長チャネルを追加あるいはそこから除去するステップと、及び(B) この追加／除去するステップにตอบสนองして、前記ネットワークループ利得がいずれの波長においても前記ネットワークループ損失よりも常に小さいことを保証する目的で前記ネットワークの光伝送特性を変化させるステップとを有することを特徴とする波長分割多重化リングネットワーク安定化方法。

【請求項15】 前記変化させるステップが、前記ネットワークの前記伝送帯域の未使用部分の前記光伝送を変化させることを特徴とする請求項14に記載の方法。

【請求項16】 前記変化させるステップが、単一あるいは複数の活性波長チャネルが除去された際に前記伝送帯域の未使用部分の前記光伝送を低減することを特徴とする請求項15に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は波長分割多重化(WDM)リングネットワークに関し、特に、その種のWDMリングネットワークにおけるレーザー発振の防止に関する。

【0002】

【従来の技術】 例えば波長分割多重化(WDM)ネットワークのような光波ネットワークの発展及び多様性のために、容量管理及び供給、維持、及び高信頼性かつ堅固な動作に関する新たな要求がなされつつある。WDMネットワークの一つのタイプにWDMリングネットワークがある。これは、例えば、大都市圏ネットワーク応用に用いられるものである。WDMリングネットワークにおける信頼性の問題は、閉環状経路(closed cyclical path)を用いることによってその一周分の光利得がループ損失より大きい場合にはレーザー発振が可能となることから、特に重要である。レーザー発振は、相互飽和を通じて信号チャネルに影響を与え、パワー変動を引き起こす。このパワー変動は、システムのパワーマージンを低減し、システムチャネルモニターに対して誤った警報を発生させる。

【0003】通常のWDM光リングネットワークには、波長追加/除去(WAD:wavelength add/drop)機能を有するネットワーク素子が含まれる。これによって、ある光チャネルが除去及び/あるいは追加される一方、他のチャネルはそのまま通過させられる。WAD素子に用いられるテクノロジー及びネットワークアーキテクチャに依存して、WDMリングネットワークにおいて閉ループが形成される。この閉ループは、ネットワーク素子及びファイバーの損失を補償するために用いられるエルビウムドープファイバー増幅器(EDFA)を用いることによって、リングレーザー共振器を構成し得る。増幅自発放出(Amplified Spontaneous Emission; ASE)による一周分の利得がループ損失より大きい場合に発生するリング共振器内のレーザー発振は、増幅器の飽和を増大させ、付加的な雑音が導入される。これらは、光信号伝達性能に影響を与える。これらの効果は、K. Bala及びC. A. Brackettによる報文(J. Lightwave Tech. 第14巻第1585頁(1996年))及びJ. Inessらによる報文(J. Lightwave Tech. 第14巻第1207頁(1996年))に記載されている。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】すなわち、WDMリングネットワークがレーザー発振することを防止する技術が求められている。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の発明者は、閉ループを有する波長分割多重化(WDM)リングネットワークにおいては、増幅自発放出(ASE)波長においてレーザー発振の可能性が存在することを認識している。さらに、本発明の発明者は、構造及び動作条件に依存して、レーザー発振によって引き起こされる相互飽和が問題であることを決定した。最悪の場合には、この問題は、いくつかの信号チャネルのパワーを著しく減少させるほどに激しい場合があり、システムのパワーマージンを減少させたり、リングに何ら欠陥がない場合においてさえも、リングの一部におけるチャネルローディングが変化した場合に誤った警報を発する可能性がある。

【0006】本発明に従って、直列に接続された複数のノードリンクを有し、各々のノードリンクが光ファイバー部と、ネットワークの伝送帯域との間で単一あるいは複数のアクティブ波長チャネルの追加/除去を行なうアクセスノードサイトとを有するようなWDMリングネットワークにおけるレーザー発振から保護する技法が提供される。本発明に従って、ネットワークに対して接続された保護手段が、ネットワークの光伝送特性を変化させ、あらゆる波長におけるネットワークループ利得がネットワークループ損失よりも常に小さいことを保証する。

【0007】本発明の一実施例においては、前記保護手段は、ネットワークの伝送帯域の不活性部分の光伝送特

性を変化させ、その不活性部分におけるループ利得がループ損失よりも小さいことを保証する。別の実施例においては、前記保護手段は、ポンピング光源及びリンク制御を有している。さらに別の実施例においては、前記保護手段は、アクセスノード制御アルゴリズムを利用する。

#### 【0008】

【発明の実施の形態】図1には、大都市圏ネットワークなどのWDMリングネットワーク例が模式的に示されている。このWDMリングネットワークには、3つの光ファイバースパン104~106によって分散させられた3つのアクセスノードすなわちサイト(具体的には、波長追加/除去(WAD)サイトであるWAD1~WAD3)101~103が含まれている。各ノードリンク、すなわち101/104~103/106には、アクセスサイトすなわちWAD1~WAD3、101~103、及び光ファイバー部すなわち104~106がそれぞれ含まれている。WAD1~WAD3サイト101~103の各々は、それぞれWAD素子107~109及び光増幅器111~113を含んでいる。WAD素子107~109は、具体的には、ファイバグレーティング及びサーキュレータを含むように示されている。

【0009】具体的には、光増幅器111~113は、エルビウムドープファイバー増幅器(EDFA)であり、前段の対応するノードリンク(この場合には、ノード及び光ファイバー部)における損失を補償する光利得を供給する。よって、例えば増幅器111は、光ファイバースパン104、及び、WAD素子107のグレーティング、カップラ及びファイバーコネクタにおける損失を補償するように配置される。通常の設定においては、ノードリンク、すなわち101/104~103/106、の各々は、そのリンクにおけるファイバー及びWADそしによる損失を打ち消すような増幅器利得を有している。その結果、ノードリンク101/104~103/106がWDMリングネットワークを形成するように直列に接続されると、利得スペクトルが平坦である場合には、そのWDMリングネットワークを伝播する全ての信号波長に関して全体としてのループ利得はゼロであることになる。あらゆるWDMリングネットワークにおいてそのリングネットワーク全体を伝播する信号波長は存在しない(さもないければ、その信号波長は、それが発せられたノードにおいて終端されることになる)ため、ループ利得をゼロにする、という要求は、WDMリングネットワークにおけるレーザー発振を防止するのに充分であるように思われる。しかしながら、本発明の発明者は、ループ利得がゼロであることは信号波長における安定動作を実現する一方、一般的なEDFAの増幅自発放出(Amplified Spontaneous Emission; ASE)波長におけるレーザー発振を防ぐとは限らないことを認識している。このようなレーザー発振は、WDMリングネットワ

ークの性能を著しく劣化させる。

【0010】図1に示されたWDMネットワークにおいては、3つのWADサイト、WAD1、WAD2、及びWAD3が、それぞれ長さ $L_1=15.94$ 、 $L_2=14.49$ 、及び $L_3=11.13$  kmの光ファイバーよりなる3つの光ファイバースパン104~106によって接続されている。ここで、16個のWDM信号チャンネルが、リング中を時計回りに伝播させられていると仮定する。8個の信号チャンネルがWAD1とWAD2との間で存在し、8個のチャンネルがWAD1のロケーション121から発せられて（図2の201）WAD2のロケーション122において終端され（図2の202）、8個のチャンネルがWAD2のロケーション122から発せられて（図2の203）WAD1のロケーション121において終端される（図2の204）。図2においては、それぞれの線が4個のチャンネルを表わしている。4個のチャンネルがWAD2とWAD3との間で存在し、4個のチャンネルがWAD1のロケーション121から発せられて（図2の205）WAD3のロケーション123において終端され（図2の206）、4個のチャンネルがWAD3のロケーション123から発せられて（図2の207）WAD1のロケーション121において終端される（図2の208）。さらに4個のチャンネルがWAD2とWAD3との間で存在し、4個のチャンネルがWAD2のロケーション122から発せられて（図2の209）WAD3のロケーション123において終端され（図2の210）、4個のチャンネルがWAD3のロケーション123から発せられて（図2の211）WAD2のロケーション122において終端される（図2の212）。説明のため、3つのグループのチャンネルが、それぞれ $\lambda_a=1552.4$  nm、 $\lambda_b=1554.0$  nm、及び $\lambda_c=1556.1$  nmの3つのレーザーによって表現されると仮定する。

【0011】各WADサイト101~103においては、受信された全ての信号は、通過あるいは除去される以前に、それぞれエルビウムドープファイバー増幅器（EDFA）111~113によって増幅される。以下の記述においては、 $\lambda_a$ というシンボルは波長を表わし、下付き文字、ここではb、がその波長を示し、上付き文字がその波長が追加される（“a”）あるいは除去される（“d”）ことを表わす。例えば、WAD1においては、追加される波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ の2つのグレーティング161及び162と除去される波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ の2つのグレーティング163及び164が、2つのサーキュレータ151及び152の間に挿入されている。波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ はロケーション121からサーキュレータ152の入力（I）ポートに入り、それぞれグレーティング161及び162によって反射され、サーキュレータ152の出力ポートから光ファイバースパン104に出力される。

【0012】同様に、WAD2の2つのサーキュレータ153及び154の間には、波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ を追加する2つのグレーティング及び波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ を除去する2つのグレーティングが挿入されている。さらに、WAD3の2つのサーキュレータ155及び156の間には、波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ を追加する2つのグレーティング及び波長 $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ を除去する2つのグレーティングが挿入されている。

【0013】信号チャンネルの各々が相異なった波長に位置している通常のWDMリングネットワークにおいては、追加される相異なった波長の各々に対する個別のグレーティングと除去される相異なった波長の各々に対する個別のグレーティングとが存在する。よって、ここで記述されているリングネットワーク例においては、WAD1は12個（グループ $\lambda_a$ に関して8個、グループ $\lambda_b$ に関して4個）の追加される波長に対する12個のグレーティング及び12個（グループ $\lambda_a$ に関して8個、グループ $\lambda_b$ に関して4個）の除去される波長に対する12個のグレーティングを有することになる。同様に、WAD2には総数で12個（ $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ ）の追加される波長に対する12個のグレーティング及び12個（ $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ ）の除去される波長に対する12個のグレーティングが存在する。WAD3には総数で8個（ $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ ）の追加される波長に対する8個のグレーティング及び8個（ $\lambda_a$ 、 $\lambda_b$ ）の除去される波長に対する8個のグレーティングが存在する。しかしながら、例えばWAD1に関しては、同一波長、例えば $\lambda_a$ 、が除去されてかつWAD1において追加される（このことは、追加/除去回路においては一般的なことである）場合には、グレーティング162あるいは164のいずれか一方は除去され得る。なぜなら、その追加/除去される波長 $\lambda_a$ に関しては一つのグレーティングのみが必要とされるからである。

【0014】WAD素子は、C. Dragone, C. A. Edwards and R. C. Kisfierzによる“シリコン上への光N×Mマルチプレクサのインテグレーション”という表題の論文（IEE Photonics Tech. Letters, 第3巻第10号第896~899頁（1991年10月））に記載されている型を用いて実現され得る。この論文は本発明の参考文献である。さらに、WAD素子は、C. R. Gilesらによる“波長分割多重化ネットワーク向けの光追加/除去回路”という表題の1996年10月15日付けの米国特許出願第08/730,282号に記載されたタイプのものでもよい。この米国特許出願は本発明の参考文献である。

【0015】WAD1~WAD3の各ノードは、さらに、各EDFAの入力動作レベルが同一であることを保証する目的で各WADリンク101/104~103/106の各々におけるリンク損失をリンク利得と等しくするために用いられる可変減衰器、例えばWAD1における171、を有している。このネットワーク例におい

ては、各EDFA111～113に対する総入力及び出力パワーは、それぞれ-4及び15dBmであった。各EDFAの利得、つまり隣接する2つのEDFAの間の損失は19dBであった。信号波長領域におけるEDFAの動作利得の変化は小さかった。WAD3における10%カップラはリング内における光出力をモニタするために用いられ、波長 $\lambda_0$ はWAD1の出力ポート“O”において測定された。このネットワーク例においては、追加及び除去される波長が同一である場合には、個別の除去グレーティング及び個別の追加グレーティングを用いるのではなく、単一のグレーティングがその波長の追加/除去の双方に関して用いられ得る。

【0016】図7には、一般的なEDFAのブロック図が示されている。EDFAファイバー401には、ポンピング光源402からのポンピング信号が供給される。ポンピング光源402のパワー出力は、電流源403から供給されるバイアス電流のレベルによって決定される。制御信号は、電流源403からのバイアス電流のレベルを制御し、よって、EDFAファイバー401内の利得を制御する。EDFAは、例えば、R.G.Smartらによる“長距離ソリトンシステムにおける使用に適した2段エルビウムドープファイバー増幅器”という表題の論文(ELECTRONICS LETTERS第30巻第1号(1994年1月6日))に記載されたタイプのものである。この論文は本発明の参考文献である。

【0017】図8には、図7に示された一般的なEDFAにおける入力信号パワーと利得との関係を示すプロット例が示されている。図示されているように、利得レベル及び飽和レベルは、信号パワーとポンピングバイアス電流の双方の関数として変化する。より高いポンピングバイアス電流Ib2においては、より低いバイアス電流Ib1の場合よりも、利得及び飽和パワーレベルの双方が高い。

【0018】図1に示されているようなWDMリングネットワークを構成するために、リングが閉じられる前に、WADリンク101/104～103/106の各々において、信号波長でのEDFA利得がWADリンクの各々での損失と等しく設定された。リング構造が閉じられた時点で、図4に示されているポート“M”でモニタされた光信号で示されているように、レーザー発振が現れた。このようなレーザー発振は、ファイバグレーティングの反射帯域の外部に位置する伝送帯域中の不活性部分のASE波長(例えば301及び302)において発生する。これらのASE波長はWDMリングネットワーク全体を伝播し、ループ損失を上回るループ利得を受ける場合に発振する。レーザー発振波長におけるループ利得はループ利得に固定されているため(なぜなら、レーザー発振は全体としてのループ利得が1、すなわち0dBの場合に発生する)、出力ポート“O”における信号強度は、これは波長 $\lambda_0$ で観測されるものである

が、0.5dBほど減少する。なぜなら、レーザー発振波長における利得は信号チャンネルにおける利得よりも大きいからである。

【0019】レーザー発振パワーは、WDMリングネットワークにおける共振器(すなわちループ)損失を増大させることによって低減されて除去される。このリングネットワーク例においては、各WADサイトにおける減衰をおよそ0.7dBだけ増大させたところでレーザー発振スレッシュホールドに達し、減衰器における減衰量が1.0dBだけ増大させられたところでレーザー発振が完全に抑制された(図5参照)。WADサイトにおけるEDFAは強く飽和させられているため、全体としての出力パワーは実質的に一定であり、モニター“M”における信号パワーは0.5dBほど増大した。しかしながら、出力ポート“O”における出力パワー(図示せず)は、WAD1における減衰器を2度通過することによっておよそ1.6dBほど減少した。

【0020】図1に示されているWDMリングネットワークはスレッシュホールド近傍で動作させられたため、飽和レベルが減少させられる、すなわちEDFAの利得が増大させられるとレーザー発振が起こった。このことは、図8に示されているように、固定バイアス電流Ib2においては、入力レベルがより飽和させられたレベル401からより飽和させられていないレベル402に低減された場合にEDFAの利得が増大する、ということから理解される。パワーの低減は、実際には、複数の信号チャンネルのうちのいくつかが除去される場合に発生し得る。リングの一部におけるチャンネルローディングの変化が生じた場合にレーザー発振は再び起こり得るものであり、レーザーパワーによって引き起こされるEDFAの相互飽和によってリング内の全ての信号が影響を受ける。最悪の場合には、残存しているチャンネルのうちのいくつかの信号パワーが著しく低減される可能性があり、システムのパワーマージンが低下し、システムの光モニタに誤った警報が発せられる可能性がある。例えば、図6に示されているように、WAD1に追加されWAD2において除去される $\lambda_0$ の8チャンネルが不連続である場合には、レーザー発振が再開してしまう。これは、この8チャンネルがEDFA113及び112を通過せず、従ってそれらの間の相互飽和が起こらないためである。その結果、図8に示されているように、EDFA113及び112の動作パワーレベルがより飽和させられた値、例えば401、からより飽和させられていない値、例えば402、へ減少するためである。図8より、動作パワーレベルを401から402へ低減することによって、EDFA113及び112の双方の利得が増大することが理解される。

【0021】WAD1におけるEDFA111を通過するチャンネル数には変化が無いため、そのパワーすなわち利得は一定のままである。EDFA113及び112に

おける利得の増加がWDMリングネットワークでの波長301及び/あるいは302における全体としてのループ利得を実現するのに充分であれば、それらの波長におけるレーザー発振が起こる。但し、レーザー発振信号のパワーはさらに飽和し、EDFA111、112、及び113の全ての利得を低下させてループ利得が0に戻る、ということに留意されたい。しかしながら、レーザー発振は、全体としてのループ利得が少なくとも0である限りは持続する。

【0022】図1に示されたWDMリングネットワークの場合には、ポート“O”における出力パワーは0.8dB低下した。WAD1で双方のチャンネルが除去される場合には、出力パワーは1dB低下した。WAD1へのチャンネルとWAD1の双方が除去される場合には、ファイバーの切断あるいはネットワーク再配置のために、出力パワーは1.7dB低下した。WDMネットワークの構造の設計と動作状況に依存するが、これらのパワー変動は許容され得る可能性がある。

【0023】ここで、EDFAの利得の平坦さ及びその動作状況に依存して、レーザー発振がASE帯域の広い範囲に亘って発生し得る、ということに留意されたい。飽和条件を変化させることにより、レーザー発振は、信号波長と比較してより長い波長において、また、図4に示されている信号チャンネル303の間で、それぞれ観測される可能性がある。本発明の発明者は、ASE発振に起因する信号チャンネルの劣化が、平坦なEDFA利得を用いることによって低減され、ループ損失を増大させることによって完全に除去されることを見出した。

【0024】ある場合には、この問題は非常に重大であり、ある信号チャンネルのパワーが著しく低減される可能性がある。このようになると、アイパターンが著しく閉じてしまい、リング内に何ら欠陥が存在しない場合においてさえもリングの一部におけるチャンネルローディングが変化する。最悪の場合には、上記問題は、ネットワーク全体に亘る伝送を使用不能にしてしまう。

【0025】別のリングネットワーク例においては、図2に示された設定が図3に示されているように変更されている。図3に示されたネットワークにおいては、WAD1からWAD2宛に8個のチャンネルが存在し、WAD1からWAD3宛に8個のチャンネル、WAD3からWAD2へ8個のチャンネルがそれぞれ存在するが、WAD2からWAD1へは2個のチャンネル（破線で図示されている）しか存在しない。WAD2からWAD1への波長λ<sub>2</sub>での2個のチャンネルは、設計された19dBの利得を用いた。WAD1への波長λ<sub>2</sub>での入力が除去されると、ポート“O”でのパワーは2.9dBだけ減少した。WAD1への全てのλ<sub>2</sub>入力が除去されると、パワーは5dB減少した。一方、WAD1及びWAD3への全ての入力が除去される場合には、パワーは6.2dBだけ減少する。このことは、システムのパワーマージン

を減少させ、システムの光モニターに誤った警報を発報させてしまうため、さらに多くのシステムマージンを割り当てる必要がある。

【0026】ここで、レーザー発振飽和によって引き起こされるパワー変動は、グレーティングを用いたWADサイトだけに限定されないことに留意されたい。閉経路は、デマルチプレクサ/マルチプレクサWADを用いるある種のWDMリングネットワークアーキテクチャにおいても形成され得る。図9には、公知のドラゴン(Dragone)導波路グレーティングルータを用いてインプリメントされたデマルチプレクサ/マルチプレクサWADの一例が示されている。この種のWGRは前掲のC. Dragoneらによる参考文献に記載されており、それぞれの波長に従った信号チャンネルのルーティングが可能になる。

【0027】図9に示されているように、WADノード（例えばWAD1）は、デマルチプレクサWGRユニット601、導波路インターフェース602及び603、及びマルチプレクサWGR604を用いてインプリメントされ得る。交換ユニット605の機能は、後に記述される。

【0028】デマルチプレクサユニット601は、光ファイバー（例えば、スパン105）を介して受信した種々の波長を有する信号チャンネルを分離するために用いられる。WGRユニット601のチャンネル出力は、インターフェース602に接続されている。図9は、図2に示されたネットワーク例において、波長を追加及び除去する目的でWGR107が用いられる様子を示している。図示されているように、4波長経路がWGR107に入り、そのうちの3波長経路606が除去されて3波長経路が追加される。ここでは、以前と同様に、各線が4チャンネルを表わしている。交換インターフェース605からの4個の出力波長のうち、3個の波長経路606が除去され、波長経路608がスルーされて、追加された波長経路607と共に、インターフェース603へ接続されている。インターフェース603の出力は、スパン104を介して伝達される信号チャンネルを結合するマルチプレクサWGR604へ接続される。

【0029】デマルチプレクサWGRユニット601及びマルチプレクサWGRユニット604は選択度という観点からは比較的狭帯域デバイスであるが、このようなWGRノードによって構成されたWDMリングネットワークにおいても依然としてレーザー発振が可能である、ということに留意されたい。本発明に従って、レーザー発振を防止するために、波長経路、例えば608、が切断され、WDMリングネットワーク内におけるその波長における連続ループの形成が防止される。図示されているように、交換ユニット605は、WDMリングネットワークにおける不活性波長チャンネルの接続/切断の切り替えを行なう単一あるいは複数個の交換ネットワークを有している。交換ユニット605は、WADノード10



7に対して波長が追加される/WADノード107から波長が除去される時点をセンシングするローカル制御ユニット610によって生成される制御信号609にตอบสนองして動作する。制御ユニット610は、インターフェース605における波長交換を制御する目的でネットワーク内の波長割り当てを利用するノードリンク制御アルゴリズムを有している。この種のリンク制御は、J. Zyskindらによる“多重波長光ネットワークにおける残存チャネルに係る高速リンク制御保護” (Proc. ECOC 96, 第5巻第49頁) という表題の論文に記載されている。この論文は、本発明の参考文献である。

【0030】次に、図1を参照して、WDMリングネットワークにおけるレーザー発振を防止する本発明に係る別の技法が記述される。本発明に従って、WDMリングネットワークの動作波長帯域のうちの選択された部分の光伝送特性を変化させる目的で、保護手段がWDMリングネットワーク内に含まれる。WDMネットワークがファイバグレーティング及びサーキュレータを用いるWADノード素子を有する場合には、ノッチフィルタ181が前述の保護手段として用いられる。ノッチフィルタ181の阻止帯域は、追加/除去グレーティングの反射帯域、すなわちバンド310～313、の間のASEをブロックする(図4参照)。ノッチフィルタ181における損失は、バンド310～313における全ての周波数でのループ利得が実質的に0 dBに満たないことを保証する。ノッチフィルタ181は、信号チャネル303の各々に対する、それらが使用されていない場合のそれらの波長におけるレーザー発振を防止する目的のノッチフィルタを含むことが可能であることに留意されたい。さらに、ノッチフィルタ181は、制御信号182の制御下で選択的に機能させられるようにすることも可能であり、波長がWADノードで追加されたりWADノードから除去される時点をセンシングするローカルコントローラによって、特定のノッチフィルタが交換されてネットワーク内に挿入されるようにできる。

【0031】WDMリングネットワークにおけるレーザー発振を抑制する別の技法は、チャネルローディングの変化の間にリング内の全てのEDFAの利得を制御することであり、そのようにすることによって一周(ループ)利得が常にループ損失よりも小さく保たれる。EDFAの利得を制御するための一技法が図7に示されており、コントローラ(図示せず)からの制御信号が、WADノードで追加されたりWADノードから除去されたりする波長にตอบสนองして利得が変化させられるべきである時点を知照する。このような技法は、A. Srivastavaらによる“エルビウムドープファイバ増幅器における高速ポンピング制御”(OAA' 97におけるポストデッドラインペーパー) という表題の論文に記載されている。この論文は本発明の参考文献である。

【0032】図10は、二重WDMリングネットワーク

において本発明にかかる技法が用いられる様子を示している。図示されているように、二重WDMリングネットワークは、WADサイト711～715を有するリング701及び702を有している。ここで、WADサイト711～715のうちの一つあるいは複数個は、他の光ネットワークとの間での波長のルーティングを可能にする、公知の光クロス接続であることに留意されたい。前述されているものと同様、WADサイト711～715は、WADサイト711～715のいずれにおいてもい

10 ずれかの信号波長が追加あるいは除去される際のリング701及び702におけるレーザー発振を防止する保護手段を組み込んでいる。リング701及び702のファイバーが、例えば751及び752において切断された場合には、公知のパッチネットワーク721～724が自動的に挿入されて新たなWDMリングネットワークループ731及び732が生成される。本発明に従って、WADサイト711～715に配置されている保護手段が、新たなWDMリングネットワークにおけるレーザー発振を防止するために自動的に挿入/除去される。

20 【0033】さらに、前述されている場合と同様、本発明に従って、EDFAファイバーの利得が、新たなWDMリングネットワークにおいてレーザー発振を起こさないことを保証するように変更される。これは、前掲のA. Srivastavaらによる文献において議論されているようにポンピング制御を用いて、及び、前掲のJ. Zyskindらによる文献において記述されているようにリンク制御を用いて実現される。

30 【0034】以上の説明は、本発明の一実施例に関するもので、この技術分野の当業者であれば、本発明の種々の変形例が考え得るが、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

【0035】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明によれば、レーザー発振することを防止された波長分割多重化リングネットワーク及び波長分割多重化リングネットワークにおける光伝送を安定化する方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の動作を記述するために有用な、WDMリングネットワーク例の模式図。

40 【図2】 各WADロケーションにおいて追加/除去される信号チャネルを明示するための、図1のWDMリングネットワークの簡略化されたダイアグラム(各線はそれぞれ4信号チャネルを表わしており、破線は2チャネルを表わしている)。

【図3】 各WADロケーションにおいて追加/除去される信号チャネルを明示するための、図1のWDMリングネットワークの簡略化されたダイアグラム(各線はそれぞれ4信号チャネルを表わしており、破線は2チャネルを表わしている)。

50 【図4】 図1に示されたWDMリングネットワークが

閉ループである場合に、3つの信号波長の左側に2つのレーザー発振が現れた際のスペクトルを示す図。

【図5】 3つのWADサイトにおける各アッテネータが1dBだけ増大させられた場合にレーザー発振が抑制されることを示すスペクトル。

【図6】 図5に示されたスペクトルと比較して、WAD<sub>1</sub>に対して追加されるλ<sub>0</sub>がカットされた場合にレーザー発振が起こる様子を示すスペクトル。

【図7】 一般的なEDFAを示すブロック図。

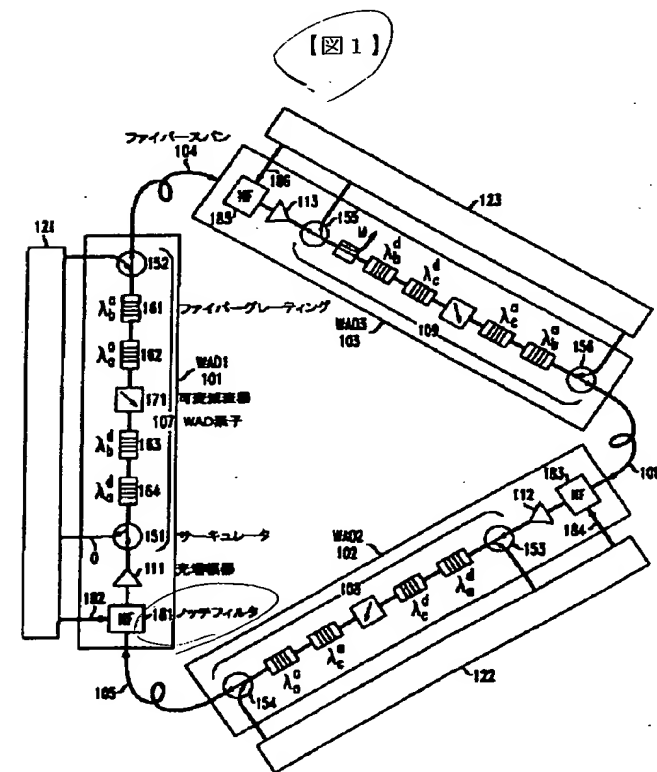
【図8】 図7に示された一般的なEDFAにおける入力電力対利得プロットの例を示すグラフ。

【図9】 WADサイトにおいて用いられるDragonerルータの代表的なダイアグラムを示す図。

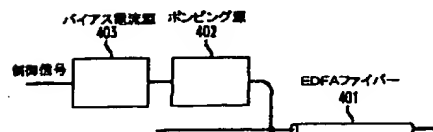
【図10】 本発明に係る技法が二重WDMリングネットワークにおいて用いられる様子を模式的に示す図。

【符号の説明】

- 101、102、103 波長追加/除去サイト  
104、105、106 ファイバースパン  
107、108、109 WAD素子  
111、112、113 光増幅器

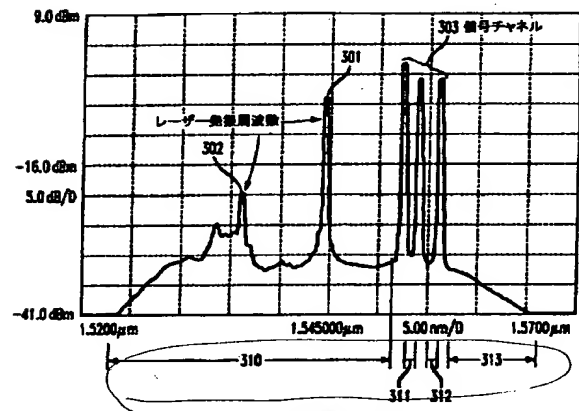


【図7】

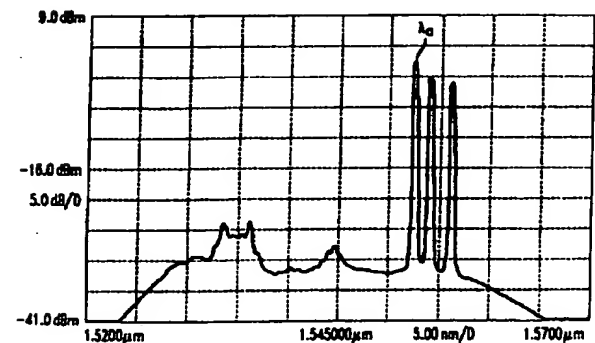


- 121、122、123 ロケーション  
151、152、153、154、155、156 サークキュレータ  
161、162、163、164 グレーティング  
171 可変減衰器  
181、183、185 ノッチフィルタ  
182、184、186 制御信号  
301、302 レーザー発振波長  
303 信号チャネル  
401 EDFAファイバー  
402 ポンピング源  
403 電流源  
601 デマルチプレクサ  
602、603 導波路インターフェース  
604 マルチプレクサ  
605 交換ユニット  
609 制御信号  
610 制御ユニット  
711、712、713、714、715 WAD  
721、722、723、724 パッチネットワーク

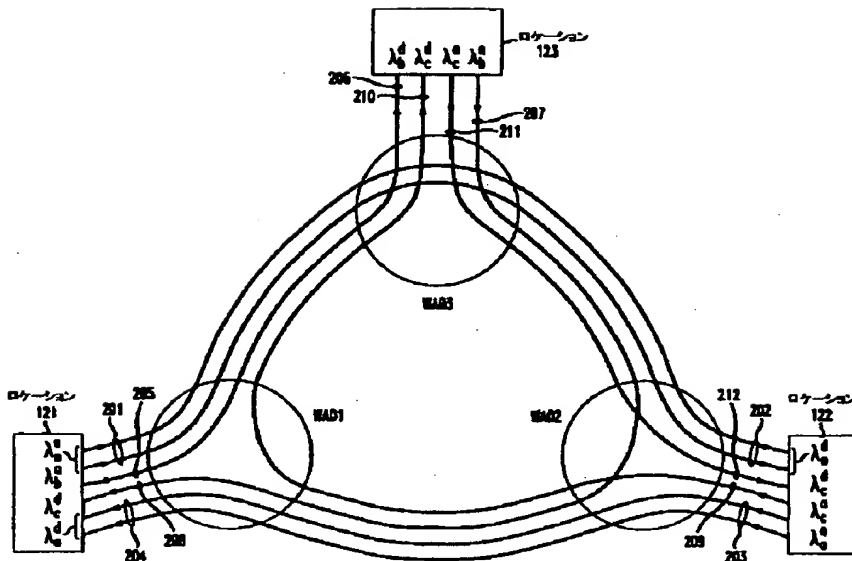
【図4】



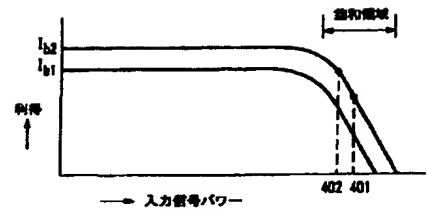
【図5】



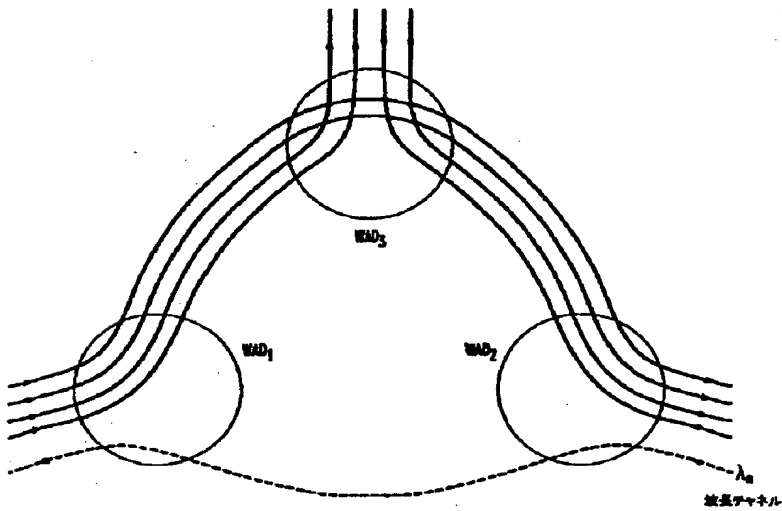
【図2】



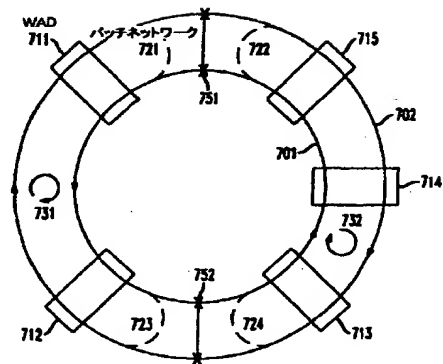
【図8】



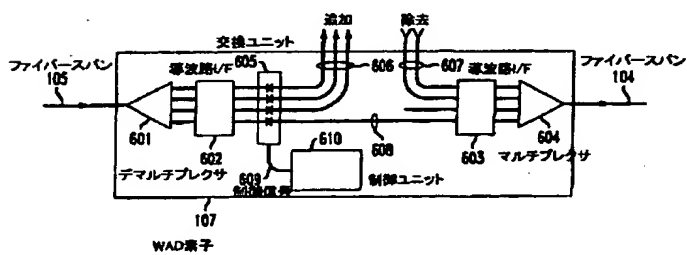
【図3】



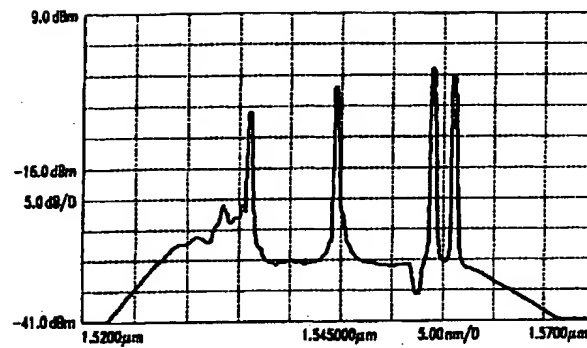
【図10】



【図9】



【図6】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

H 0 4 B 10/18

識別記号

F I

(71) 出願人 596077259

600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Je  
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72) 発明者 ジェームズ ダブリュー. スルホフ  
アメリカ合衆国, 07712 ニュージャージ  
ー, オーシャン, ディール ロード 1147

(72) 発明者 ヤン サン

アメリカ合衆国, 07748 ニュージャージ  
ー, ミドルタウン, ノルウッド ドライブ  
908

(72) 発明者 ジョン レハー ジスカインド

アメリカ合衆国, 07702 ニュージャージ  
ー, シュリュースベリー, コンステイテュ  
ーション ドライブ 16